

нию, после чего необходимо предусмотреть меры по включению системы управления.

Разработанная система диагностики при ее внедрении будет способствовать повышению экономии энергетических ресурсов СЦТ в целом.

1. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. – М.: МЭИ, 2001. – 360 с.
2. Техническая диагностика // Труды I Всесоюзн. совещания по технической диагностике. – М.: Наука, 1972. – 368 с.
3. Основы технической диагностики / Под ред. П.П.Пархоменко: В 2-х кн. Кн.1. – М.: Энергия, 1976. – 464 с.
4. KING P.J.H. Decision tables // The Computer Journal. – 1967. – Vol.10, No.3. – P.135-142.

*Получено 08.09.2008*

УДК 628.8

А.В.РОМАШКО, канд. техн. наук, Т.В.КАСЬЯНЕНКО

*Харьковская национальная академия городского хозяйства*

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДВУХПОЗИЦИОННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРОВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ, РАБОТАЮЩИХ НА ГАЗООБРАЗНОМ ТОПЛИВЕ**

Рассматривается современное направление развития теплоснабжения. Математически сформулирована более сложная модель с одновременным изменением температур теплоносителя и воздуха помещения с разработкой первой стадии нахождения общего решения системы дифференциальных линейных неоднородных уравнений. Обоснована целесообразность применения для дальнейшего поиска решения поставленной задачи численных методов.

Современное направление развития теплоснабжения в коммунальной сфере имеет в своей основе приоритет в развитии децентрализованных систем отопления на базе газовых отопительных приборов. Эта тенденция наиболее ярко прослеживается сегодня в районах урбанизированной городской застройки. Помимо многоэтажных зданий газовые отопительные системы в одноэтажном и усадебном строительстве являются традиционными и широко распространены.

Этот сектор энергопотребления принято называть «малой энергетикой» [1]. Сюда можно отнести оборудование коммунальной энергетики: ТЭЦ, районные и заводские котельные, промышленные печи, бытовые установки различной теплопроизводительности. Для них характерен низкий уровень экономичности, надежности и безопасности, в том числе и экологической. Малая энергетика потребляет более 60% всего топлива ТЭК Украины. Объемы потребления газообразного,

жидкого и твердого топлива составляют (в единицах условного топлива) соответственно 49, 20 и 31%.

Относящихся к малой энергетике топливосжигающих установок в стране насчитывается около 2,0 млн. единиц.

Подавляющая часть из них – около 1,5 млн. – малометражные котлы теплопроизводительностью менее 0,1 мВт, которые и являются источниками тепла в децентрализованных системах теплоснабжения.

Таким образом, задача повышения экономичности и эксплуатационной надежности этой группы оборудования является актуальной и призвана снизить потребление первичных энергоресурсов в коммунальном секторе экономики страны.

Анализ конструкций и режимов работы [1, 2] большинства образцов бытового отопительного оборудования малой мощности, поступающего сегодня на рынок, позволяет сделать вывод о том, что основным способом регулирования их теплопроизводительности является двухпозиционное регулирование. Данное технологическое решение является конструктивно несложным, простым в обслуживании, показало высокую эксплуатационную надежность и ремонтпригодность.

Суть его заключается в том, что по достижении заданной температуры теплоносителя на выходе из отопительного котла, происходит отключение подачи газа в основную горелку устройства. Затем, по мере снижения температуры теплоносителя (а темп снижения температуры зависит от величины текущих теплопотерь здания) при достижении нижнего предела регулирования устройство автоматики открывает газовый клапан и подает газ в основную горелку. Затем цикл повторяется.

Следует отметить, что существует так называемый расчетный режим работы системы отопления, при котором теплопроизводительность отопительного котла равна теплопотерям здания. Исходя из этого режима, собственно, и выбирается мощность отопительного устройства. Но такой режим, согласно климатологическим данным, (например, расчетная отопительная температура для г.Харькова  $t_{p.o.} = -23^{\circ}\text{C}$ ) наблюдается не более 3-4 суток за отопительный сезон. Все остальное время котел работает при теплоснабжении меньше номинального, т.е. с использованием системы двухпозиционного регулирования.

Надежное срабатывание газовых клапанов при использовании этой системы происходит при превышении температуры теплоносителя над заданным верхним пределом, например  $70^{\circ}\text{C}$ , на  $5-7^{\circ}\text{C}$ , т.е.

фактически при температуре  $75...77^{\circ}\text{C}$ . Это обусловлено теплофизическими свойствами применяемых в системе автоматики рабочих тел (наиболее распространен керосин) и характеристиками сильфонов.

В результате в ходе каждого цикла «включение – выключение» имеет место временной диапазон, в котором температура теплоносителя превышает расчетное значение, что в свою очередь приводит к повышению коэффициента теплопередачи отопительных приборов, далее – к повышению температуры внутреннего воздуха в обслуживаемом помещении – а следовательно, к появлению сверхнормативных теплопотерь.

Таким образом, система двухпозиционного регулирования теплопроизводительности малометражного отопительного оборудования, несмотря на свою конструктивную простоту и эксплуатационную надежность, создает условия для возникновения сверхнормативных теплопотерь в обслуживаемых помещениях при режимах работы, отличных от расчетного (т.е. в течение большей части отопительного периода).

Объектом исследования в данной работе является рабочий цикл системы двухпозиционного регулирования индивидуальной отопительной установки. Цель работы – построение формализованной математической модели рассматриваемой системы и анализ факторов, влияющих на основные характеристики рабочего режима в условиях различного уровня тепловой нагрузки, выработка рекомендаций по снижению уровня сверхнормативных теплопотерь.

На первом этапе рассмотрим задачу об изменении температуры теплоносителя в системе индивидуального отопления в предложении, что температура воздуха в обслуживаемом помещении остается постоянной.

Расчетная схема системы представлена на рис.1.

Приняты следующие обозначения:  $q_k$  – тепловой поток, подводимый к теплоносителю системы отопления в котле 1, кВт (фактически, это теплопроизводительность газовой горелки, умноженная на КПД котла);  $R$  – коэффициент теплопередачи конвективного отопительного прибора,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ;  $F_1$  – поверхность теплообмена конвективного отопительного прибора,  $\text{м}^2$ ;  $W$  – водяной эквивалент потока циркулирующего теплоносителя, обеспечиваемого насосом 3,  $\text{кВт}/^{\circ}\text{C}$ ;  $M_1$  – масса теплоносителя в системе отопления, кг;  $C_1$  – удельная массовая теплоемкость теплоносителя,  $\text{кДж}/\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}$ .

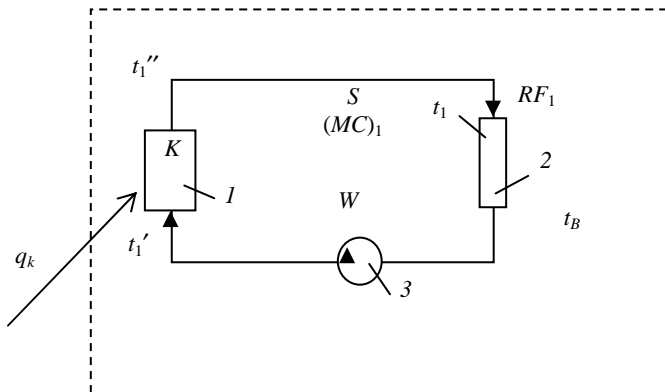


Рис.1 – Расчётная схема двухпозиционного регулирования при постоянной температуре обслуживаемого помещения:  
 1 – теплогенерирующее устройство (отопительный котел); 2 – конвективный отопительный прибор; 3 – циркуляционный насос.

Приняты следующие допущения:

- температура воздуха в отапливаемом помещении остается постоянной,  $t_B = const$  ;
- коэффициент теплоотдачи отопительного прибора не зависит от температуры греющего теплоносителя  $t_1$  ,  $R = const$  .

В качестве переменной будем рассматривать среднюю температуру теплоносителя в системе отопления

$$t_1 = \frac{t_1' + t_1''}{2}, \quad (1)$$

где  $t_1'$  – температура теплоносителя на входе в котел 1, °C;  $t_1''$  – температура теплоносителя на выходе из котла 1, °C.

Между температурами  $t_1'$  и  $t_1''$  существует взаимосвязь:

$$t_1' = t_1'' + \frac{q_k}{W}; \quad t_1'' = t_1' - \frac{q_k}{W}. \quad (2)$$

Составим тепловой баланс для рассматриваемой расчетной схемы за некоторый бесконечно малый промежуток времени  $d\tau$  в предположении, что в начальный момент времени  $\tau_0 = 0$  тепловой поток  $q_k$  , сообщаемый теплоносителю в котле 1, не равен тепловому потоку, отдаваемому нагревательным прибором 2 в обслуживаемое помещение  $q_{np} = (RF)_1(t_1 - t_B)$  .

Следовательно, избыток или недостаток тепла ( $q_k > q_{np}$  или  $q_k < q_{np}$ ) приведет к изменению температуры теплоносителя на  $dt_1$ .

$$q_k \cdot d\tau = (MC)_1 \cdot dt_1 + (RF)_1 \left( t_1 + \frac{dt_1}{2} - t_B \right) d\tau. \quad (3)$$

Преобразуем полученное выражение

$$q_k \cdot d\tau = (MC)_1 \cdot dt_1 + (RF)_1 \frac{dt_1}{2} - d\tau - (RF)_1 t_B \cdot d\tau. \quad (4)$$

Величину  $dt_1 \cdot d\tau$  исключаем, как бесконечно малую более высокого порядка и делим все члены уравнения на  $d\tau$ :

$$q_k = (MC)_1 \cdot \frac{dt_1}{d\tau} + (RF)_1 \cdot t_1 - (RF)_1 \cdot t_B; \quad (5)$$

$$\frac{dt_1}{d\tau} + \frac{(RF)_1}{(MC)_1} \cdot t_1 = \frac{q_k}{(MC)_1} + \frac{(RF)_1 \cdot t_B}{(MC)_1}. \quad (6)$$

Введем обозначения:

$$\frac{dt_1}{d\tau} = y'_1; \quad t_1 = y; \quad \frac{(RF)_1}{(MC)_1} = P(x); \quad \frac{(RF)_1 \cdot t_B}{(MC)_1} = Q(x). \quad (7)$$

Тогда уравнение (6) примет вид:

$$y'_1 + P(x)g_1 = Q(x). \quad (8)$$

Это уравнение может быть классифицировано как линейное неоднородное дифференциальное уравнение первого порядка [2].

В силу принятых допущений

$$P(x) = \frac{(RF)_1}{(MC)_1} = P = const; \quad (9)$$

$$Q(x) = \frac{(RF)_1 \cdot t_B}{(MC)_1} = Q = const. \quad (10)$$

Следовательно, данное уравнение является уравнением с постоянными коэффициентами:

$$y'_1 + P \cdot y_1 = Q. \quad (11)$$

Общее решение будем искать в виде:

$$y_{1(\tau)} = \frac{1}{\mu(\tau)} \left( \int Q \mu(\tau) d\tau + C \right), \quad (12)$$

где  $\mu(\tau) = e^{\int P d\tau}$  – интегрирующий множитель, причем в случае  $P = \text{const}$   $\mu(\tau) = e^{P\tau}$ .

$$y_{1(\tau)} = \frac{1}{e^{P\tau}} \left( \int Q \cdot e^{P\tau} d\tau + C \right) = \frac{1}{e^{P\tau}} \left( \frac{Q}{P} e^{P\tau} + C \right); \quad (13)$$

$$y_{1(\tau)} = \frac{Q}{P} + \frac{C}{e^{P\tau}}. \quad (14)$$

Произвольную постоянную  $C$  определяем из начальных условий: при  $\tau = 0$ ;  $y_1 = t_{10}$ .

Подставляя начальные условия в выражение (14), получим:

$$t_{10} = \frac{Q}{P} + \frac{C}{1}; \quad C = t_{10} - \frac{Q}{P}. \quad (15)$$

С учетом значения произвольной постоянной  $C$  имеем:

$$y_{1(\tau)} = \frac{Q}{P} + \frac{1}{e^{P\tau}} \left( t_{10} - \frac{Q}{P} \right) = \frac{t_{10}}{e^{P\tau}} + \frac{Q}{P} \left( 1 - \frac{1}{e^{P\tau}} \right). \quad (16)$$

Возвращаясь к исходным обозначениям, решение линейного дифференциального уравнения можно записать в виде:

$$y_{1(\tau)} = t_{10} \cdot e^{P\tau} + \frac{Q}{P} (1 - e^{P\tau}). \quad (17)$$

Оценим значения и диапазоны изменения численных коэффициентов  $P$  и  $Q$ , входящих в полученное решение (13)-(14).

Температуру внутреннего воздуха в обслуживаемом помещении принимаем  $t_B = 20^\circ\text{C}$ .

Расчетную отопительную температуру наружного воздуха для проектирования систем отопления –  $t_{p.o.} = -23^\circ\text{C}$  (г.Харьков).

Теплопроизводительность отопительного котла 1 принимаем  $q_k = 20$  кВт, как наиболее характерную для систем децентрализованного отопления. При значениях удельной отопительной характеристики жилых зданий  $q_{y\phi} = 0,7 \dots 0,4$  Вт/м<sup>3</sup>°C [3] и принятых температурах  $t_B = 20^\circ\text{C}$  и  $t_{p.o.} = -23^\circ\text{C}$ . Это соответствует коттеджу объемом ~650 м<sup>3</sup>, или ~200 м<sup>2</sup> отапливаемой площади.

Температура теплоносителя в системе отопления принята  $t'_1 = 75^\circ\text{C}$ ;  $t''_1 = 65^\circ\text{C}$  в расчетном режиме. Это позволяет вычислить ориентировочную теплоотдающую способность нагревательных при-

боров, установленных в здании:

$$(RF)_1 = \frac{q_k}{\left(\frac{t'_1 + t''_1}{2} - t_B\right)} = \frac{20}{\left(\frac{75 + 65}{2} - 20\right)} = 0,4 \text{ кВт/}^0\text{С}. \quad (18)$$

Массу теплоносителя в системе отопления можно определить исходя из конструктивных характеристик системы по укрупненным показателям (таблица).

Характеристика системы

<b>Производительность системы, кВт</b>	7	10	16	20
<b>Суммарный объем воды в системе, л</b>	100	140	220	270

Принимаем массу воды в системе  $M_1 = 270$  кг, удельную теплоемкость  $C_1 = 4,19$  кДж/кг $^0$ С, следовательно, значение параметра  $(MC)_1$  составит:

$$(MC)_1 = \frac{(RF)_1}{(MC)_1} = \frac{0,4 \text{ кВт/}^0\text{С}}{1131,3 \text{ кДж/}^0\text{С}} = 0,000354 \text{ 1/с};$$

$$Q = \frac{q_k + (RF)_1 \cdot t_B}{(MC)_1} = \frac{20 \text{ кВт} + 0,4 \text{ кВт/}^0\text{С} \times 20^0\text{С}}{1131,3 \text{ кДж/}^0\text{С}} = 0,0247 \text{ }^0\text{С/с}.$$

Функция, описывающая изменение температуры теплоносителя во времени для реальной системы отопления, имеет вид:

$$t_1(\tau) = t_{10} \cdot e^{-0,000354\tau} + \frac{0,0247}{1131,3} (1 - e^{-0,000354\tau}),$$

где  $t_{10}$  – значение температуры теплоносителя при  $\tau_0 = 0$ .

Рассмотрим более общую задачу, в которой допущение о независимости теплоотдачи отопительного прибора от разности температур теплоносителя  $t_1$  и температуры воздуха в помещении  $t_B$  остается в силе, а допущение о постоянстве температуры  $t_B$  снимается.

Расчетная схема данной задачи приведена на рис.2.

Дополнительно приняты следующие обозначения:  $t_n$  – температура наружного воздуха;  $R_2$  – коэффициент теплопередачи наружной ограждающей конструкции, Вт/(м $^2$   $^0$ С);  $F_2$  – поверхность теплообме-

на наружной ограждающей конструкции,  $m^2$ ;  $M_2$  – масса воздуха в отапливаемом помещении, кг;  $C_2$  – удельная массовая теплоемкость воздуха,  $kJ/kg \cdot ^\circ C$ ;  $t_2$  – температура воздуха в отапливаемом помещении,  $^\circ C$ .

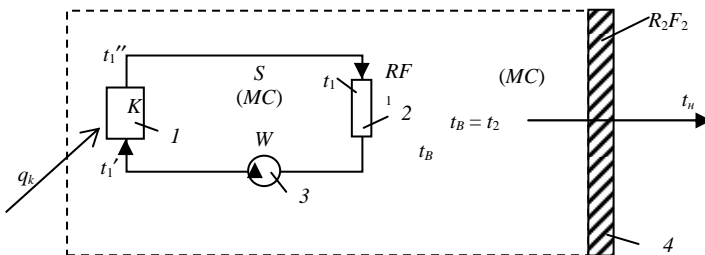


Рис.2 – Расчетная схема:

1 – теплогенерирующее устройство (отопительный котел); 2 – конвективный отопительный прибор; 3 – циркуляционный насос; 4 – наружная ограждающая конструкция здания.

Приняты следующие допущения:

- коэффициент теплоотдачи отопительного прибора не зависит от разности температур теплоносителя  $t_1$  и температуры воздуха в помещении  $t_2$ , т.е.  $R_1 = const$ ;

- коэффициент теплоотдачи наружного ограждения является постоянным;

- температура наружного воздуха постоянна,  $t_n = const$ .

Составим тепловой баланс для рассматриваемой расчетной схемы за некоторый бесконечно малый промежуток времени  $d\tau$  при условиях, аналогичных схеме №1, но в предположении, что температура внутреннего воздуха в помещении  $t_2$  будет изменяться во времени.

Уравнение для перехода через поверхность раздела теплоноситель – воздух помещения будет иметь вид:

$$q_k d\tau = (MC)_1 \cdot dt_1 + (RF)_1 \left( t_1 + \frac{dt_1}{2} - t_2 - \frac{dt_2}{2} \right) d\tau. \quad (19)$$

Уравнение для перехода через поверхность раздела воздух помещения – наружный воздух будет иметь вид:

$$(RF)_1 \left( t_1 + \frac{dt_1}{2} - t_2 - \frac{dt_2}{2} \right) d\tau = (MC)_2 \cdot dt_2 + (RF)_2 \left( t_2 + \frac{dt_2}{2} - t_n \right) d\tau. \quad (20)$$



Преобразуем полученные выражения:

$$\begin{cases} q_k d\tau = (MC)_1 \cdot dt_1 + (RF)_1 \frac{dt_1}{2} d\tau - (RF)_1 \cdot t_2 d\tau - (RF)_1 \cdot \frac{dt_2}{2} d\tau; \\ RF_1 t_1 d\tau + (RF)_1 \frac{dt_1}{2} d\tau - (RF)_1 \cdot t_2 d\tau - (RF)_1 \cdot \frac{dt_2}{2} d\tau = \\ = (MC)_2 dt_2 + (RF)_2 \cdot t_2 d\tau + (RF)_2 \cdot \frac{dt_2}{2} d\tau - (RF)_2 \cdot t_n d\tau. \end{cases} \quad (21)$$

Отбросив бесконечно малые более высокого порядка  $dt_1 \cdot d\tau$  и  $dt_2 \cdot d\tau$  и разделив слагаемые на  $d\tau$ , получим:

$$\begin{cases} q_k = (MC)_1 \cdot \frac{dt_1}{d\tau} + (RF)_1 t_1 - (RF)_1 \cdot t_2 \\ (RF)_1 t_1 - (RF)_1 t_2 = (MC)_2 \frac{dt_2}{d\tau} + (RF)_2 \cdot t_n \end{cases} \quad (22)$$

или

$$\begin{cases} \frac{dt_1}{d\tau} + \frac{(RF)_1}{(MC)_1} t_1 - \frac{(RF)_1}{(MC)_1} \cdot t_2 = \frac{q_k}{(MC)_1} \\ \frac{dt_2}{d\tau} - \frac{(RF)_1}{(MC)_2} t_1 - \frac{(RF)_1 + (RF)_2}{(MC)_2} \cdot t_2 = \frac{(RF)_2}{(MC)_2} \cdot t_n \end{cases} \quad (23)$$

Вводя обозначения:

$$\begin{aligned} \frac{dt_1}{d\tau} &= y'_1; \quad \frac{dt_2}{d\tau} = y'_2; \quad P_{11} = \frac{(RF)_1}{(MC)_1}; \quad P_{12} = -\frac{(RF)_1}{(MC)_1}; \\ f_1 &= \frac{q_k}{(MC)_1}; \quad P_{21} = \frac{(RF)_1}{(MC)_2}; \quad P_{22} = \frac{(RF)_1 + (RF)_2}{(MC)_2}; \\ f_2 &= \frac{q_k}{(MC)_1} t_n, \end{aligned} \quad (24)$$

и принимая во внимание, что  $P_{11} = const$ ;  $P_{12} = const$ ;  $P_{21} = const$ ;  $P_{22} = const$ ;  $f_1 = const$ , получим

$$\begin{cases} y'_1 + P_{11} y_1 + P_{12} y_2 = f_1 \\ y'_2 + P_{21} y_1 + P_{22} y_2 = f_2 \end{cases} \quad (25)$$

Полученная система является системой линейных неоднородных дифференциальных уравнений первого порядка с постоянными коэффициентами [3].

В соответствии с [3] общее решение неоднородной системы равно сумме частного решения неоднородной системы и общего решения соответствующей однородной системы.

Найдем общее решение однородной системы, вытекающей из (25):

$$\begin{cases} y_1' + P_{11}y_1 + P_{12}y_2 = 0 \\ y_2' + P_{21}y_1 + P_{22}y_2 = 0 \end{cases} \quad (26)$$

или

$$\begin{cases} y_1' = P_{11}y_1 + P_{12}y_2 \\ y_2' = P_{21}y_1 + P_{22}y_2 \end{cases}. \quad (27)$$

Будем искать частное решение этой системы в виде [2]:

$$y_1 = \alpha e^{R\tau}; \quad y_2 = \beta e^{R\tau}.$$

Необходимо определить коэффициенты  $\alpha$  и  $\beta$  и показатель степени  $R$ , предполагая, что  $e^{R\tau} \neq 0$ .

Подставим предложенные функции в однородную систему, сократим на множитель  $e^{R\tau}$  и после преобразований получим:

$$\begin{cases} R\alpha e^{R\tau} = P_{11}\alpha e^{R\tau} + P_{12}\beta e^{R\tau} \\ R\beta e^{R\tau} = P_{21}\alpha e^{R\tau} + P_{22}\beta e^{R\tau} \end{cases}; \quad (28)$$

$$\begin{cases} (P_{11} - R)\alpha + P_{12}\beta = 0 \\ (P_{21}\alpha + (P_{22} - R)\beta = 0 \end{cases}. \quad (29)$$

Система уравнений (29) является однородной. Для того, чтобы однородная система имела отличные от нуля решения, необходимо и достаточно, чтобы определитель системы равнялся нулю, т.е. должно иметь место равенство

$$\begin{vmatrix} (P_{11} - R) & P_{12} \\ P_{21} & (P_{22} - R) \end{vmatrix} = (P_{11} - R)(P_{22} - R) - P_{21} \cdot P_{12} = 0. \quad (30)$$

Раскрытие равенства (30) приводит к уравнению второй степени относительно  $R$ , или характеристическое уравнение:

$$R^2 - (P_{11} + P_{22})R + (P_{11} \cdot P_{22} - P_{21} \cdot P_{12}) = 0. \quad (31)$$

Далее рассмотрим случай, когда характеристическое уравнение

имеет различные действительные корни  $R_1$  и  $R_2$  и для каждого из этих корней запишем соответствующую систему уравнений для определения значений  $\alpha$  и  $\beta$ .

Для корня  $R_1$  имеем:

$$\begin{cases} (P_{11} - R_1)\alpha_1 + P_{12}\beta_1 = 0 \\ P_{21} \cdot \alpha_1 + (P_{22} - R_1)\beta_1 = 0 \end{cases} \quad (32)$$

или

$$((P_{11} - R_1) + P_{21})\alpha_1 + (P_{12} + (P_{22} - R_1))\beta_1 = 0. \quad (33)$$

Система имеет множество решений.

Задавая, например,  $\alpha_1 = 1$ , находим:

$$\beta_1 = \frac{(P_{11} - R_1) + P_{21}}{P_{12} + (P_{22} - R_1)}. \quad (34)$$

Следовательно, корню характеристического уравнения  $R_1$  соответствует ряд частных решений, вытекающих из (33).

Аналогично для корня  $R_2$  имеем:

$$\begin{cases} (P_{11} - R_2)\alpha_1 + P_{12}\beta_1 = 0 \\ P_{21} \cdot \alpha_1 + (P_{22} - R_2)\beta_1 = 0 \end{cases} \quad (35)$$

и

$$((P_{11} - R_2) + P_{21})\alpha_2 + (P_{12} + (P_{22} - R_2))\beta_2 = 0.$$

Общее решение системы дифференциальных уравнений запишем в виде:

$$\begin{cases} y_1(\tau) = C_1\alpha_1 e^{R_1\tau} + C_2\alpha_2 e^{R_2\tau} \\ y_2(\tau) = C_1\beta_1 e^{R_1\tau} + C_2\beta_2 e^{R_2\tau} \end{cases}, \quad (36)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  – произвольные постоянные, которые можно определить из начальных условий:  $\tau = \tau_0$ ;  $y_1 = y_{10}$  и  $y = y_{20}$ .

Дальнейшее решение полученной неоднородной системы предполагало применение метода вариации постоянных.

Однако в ходе интегрирования выражений новых (вариативных) функций, возникли сложности, не представляющие возможным на данном этапе получить решение системы в аналитическом виде.

В дальнейшем планируется применить численные методы решения поставленной задачи, что и будет предметом наших исследований.

В представленной работе определено место отопительных котлов малой производительности в общем топливно-энергетическом балансе страны и сделан вывод об актуальности проблемы повышения их эффективности. В качестве объекта исследования приняты процессы, происходящие в системе индивидуального отопления при использовании двухпозиционного регулирования тепловой нагрузки. Математическая модель процесса изменения температуры теплоносителя во времени достигнута для случая с постоянной температурой воздуха в обслуживаемом помещении. Математически сформулирована более сложная модель с одновременным изменением температур теплоносителя и воздуха помещения с разработкой первой стадии нахождения общего решения системы дифференциальных линейных неоднородных уравнений. Обоснована целесообразность применения для дальнейшего поиска решения поставленной задачи численных методов.

1.Петренко В.О., Петренко А.О. Экономия энергоресурсов системами жизнеобеспечения зданий за счет прерывистой подачи тепла // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. тр. Вып.47. – Днепропетровск: ПГАСА, 2008. – С.454-459.

2.Павлов И.Д., Терех М.Д., Арутюнян И.А. Инновационный подход к управлению организационно-техническими мероприятиями в городском строительстве и хозяйстве // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. тр. Вып.47. – Днепропетровск: ПГАСА, 2008. – С.445-450.

3.Промышленная теплоэнергетика и теплотехника. Теплоэнергетика и теплотехника. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 552 с.

*Получено 19.09.2008*

УДК 628.8

В.В.ГРАНКИНА, канд. техн. наук

*Харьковская национальная академия городского хозяйства*

## **ДИАГНОСТИКА ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ПОВРЕЖДЕНИЯ СОЛЕВЫМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ**

Рассматривается вопрос диагностики теплотехнических систем на повреждения солевыми отложениями при применении кожухотрубчатых теплообменных аппаратов.

Для диагностики теплотехнических систем на наличие солевых отложений важным вопросом является выбор объекта диагностики, а также параметров, позволяющих контролировать состояние объекта. Объектом диагностики должен быть элемент, наиболее подверженный солевыми отложениями и который является важным элементом системы для обеспечения технологического процесса.

Рассмотрим в качестве объекта диагностики для теплотехнической системы – теплообменный аппарат (кожухотрубчатый). Опреде-